

3次元磁気回路網解析に基づくクローポールモータ の特性算定精度に関する研究

著者	釣部 正義
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	90
号	1
ページ	216-217
発行年	2021-08-20
URL	http://hdl.handle.net/10097/00132887

修士学位論文要約（令和3年3月）

3次元磁気回路網解析に基づくクローポール
モータの特性算定精度に関する研究

釣部 正義

指導教員：中村 健二

A Study of Calculation Accuracy of Characteristics of Claw-Pole Motor
based on Three-Dimensional Reluctance Network Analysis

Masayoshi TSURUBE

Supervisor: Kenji NAKAMURA

In this paper, various researches were conducted to establish a method for calculating the characteristics of a claw pole motor using reluctance network analysis (RNA) as a useful method for analysis and design. The relationship between the RNA model and the accuracy of the calculation of the characteristics was investigated for the rotor pole shape, and the relationship between the number of rotor pole divisions and the analysis accuracy was shown. As a result, the torque calculation results converged as the number of stages increased, indicating a reasonable number of model divisions for analysis. Next, a suitable function for the introduced magnetization curve was presented, and the accuracy of the analysis in intense field control was improved. The calculation of iron loss in the stator is also described. In addition, a model with an iron loss calculation circuit was created and the iron loss was calculated. The results were in good agreement when field control was not used.

1. はじめに

近年、モータの小型高出力化の要求に対し、構造を3次元にすることで、鉄心と巻線の空間利用率を高め、トルクを向上させるアイデアがいくつか報告されている⁽¹⁾。しかしながら3次元構造を有するモータの特性算定には3次元解析が必須であり、また電機子電流に加え、界磁電流も制御パラメータとなるため、諸特性を算定するためには、駆動回路も含めた高速・高精度な解析が必要不可欠である。

先に筆者らは、三次元構造を有するモータの一つである巻線界磁型クローポールモータを対象とし、リラクタンスネットワーク解析 (Reluctance Network Analysis: RNA)⁽²⁾に基づき、界磁巻線型クローポールモータの特性算定法について検討を行い、トルク特性及び損失算定を高速・高精度に算定可能であることを明らかにした⁽³⁾。

本研究では、RNAモデルと特性算定精度の関係について検討を行ったので報告する。

2. RNAモデルの分割数と解析精度の検討

図1に、考察対象としたクローポールモータとその分割モデルを示す。本モデルの回転子極は滑らかな斜面を持つ爪状の極となっておりRNAにおいては、これを階段状に近似したモデルで解析することとなる。本検討においては段階的に近似の度合いを変化させたモデルを解析し、モデルの分割数と解析精度を比較する。図2に3相正弦波電流を入力とし d 軸電流は

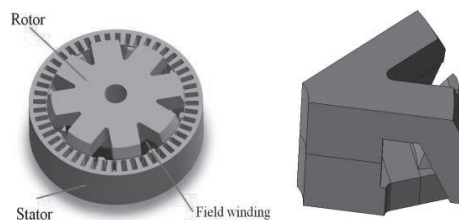


図1 クローポールモータの諸元

0 A、 q 軸電流を50~150 A (各50 A刻み)と変化させたときの各階段数における q 軸電流対トルク特性を示す。界磁電流は3A、回転数は450 rpm一定とした。なお比較対象として3D-FEMによる解析結果をシンボルとして示す。同図より1分割から7分割まで段数を増やすごとに3D-FEMの結果に漸近し、解析精度が向上したことがわかる。5分割以上に分割数を増やした場合に計算時間の長大化に対し解析結果の変化が少ないことからこのモデルを妥当な分割数のモデルとした。

3. 磁化曲線と解析精度の検討

作成したRNAモデルを用いて界磁制御を行った場合の結果を確認したところ、強め界磁制御を行った場合に解析精度が低くなることが確認された。強め界磁制御では回転子極に流れる磁束が増大する。RNAにおいて各磁気抵抗は材料の磁化曲線を多項式近似した式から計算される。そのため強め界磁制御での誤差の要因は高磁束密度領域での磁化曲線

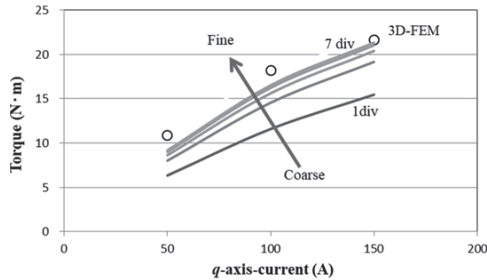
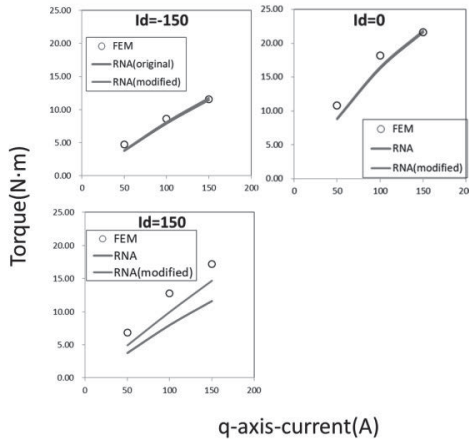


図2 回転子極分割数とトルク特性

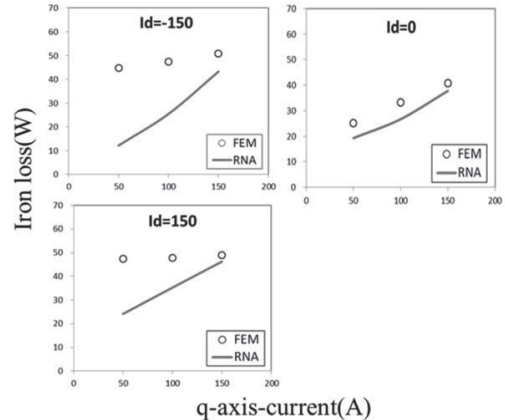
図3 q 軸電流対トルク特性

の誤差であると考えた。したがって、磁化曲線を高磁束密度領域で高精度となるように修正し 1.0-2.5 T の領域では誤差率が 3%程度から 1%程度まで改善された。

図3に修正した磁化曲線を導入した RNA モデルについて各階段数における q 軸電流対トルク特性を示す。3 相正弦波電流を入力とし d 軸電流は -150 A~150 A, q 軸電流を 50~150 A (各 50 A 刻み) と変化させた。同図から強め界磁制御時の解析精度が向上したことが分かる。これは高磁束密度領域での磁気抵抗の計算精度が向上したことで、回転子に流れる磁束が精度良く計算されたためだと考えられる。

4. 損失算定精度に関する検討

固定子に生じる鉄損算定について 3 次元有限要素法(3D-FEM)との比較・検討を行った。鉄損算定には磁気回路に磁気インダクタンスを挿入して、直接鉄損を算定する手法を用いた。入力電力と出力電力の差を損失として計算を行った。図4に軸電流を 0~150 A と変化させたときの、鉄損計算結果を示す。回転数は 2000 rpm 一定とした。この図を見ると、 $I_d = 0$ A においては、傾向・値ともに良好に一致することがわかる。その他の条件においては q 軸電流が小さ

図4 q 軸電流対鉄損特性

い領域において誤差が生じている。ここでトルクは FEM と RNA の結果が良好に一致しているため、出力電力は正確に計算されることがわかる。すなわち入力電力の計算の誤差が損失算定の誤差として表れる。ここで入力電力は銅損を差し引いて計算するため入力電流と誘起電圧の積を正味の入力電力として与えている。誤差の要因としては、誘起電圧を生じさせる部分の磁気回路で流入する磁束を、十分に計算できていないことが考えられる。

5. まとめ

クローポールモータの特性算定精度に関して検討を行った。RNA モデルと特性算定精度の関係を回転子極形状について検討し、回転子極分割数と解析精度の関係を示した。段数の増加に伴いトルク計算結果が収束し、解析上妥当なモデル分割数を示した。次いで、導入される磁化曲線についても適当な関数を示し、強め界磁制御における解析精度の改善に至った。また固定子に生じる鉄損算定について述べた。鉄損算定回路を導入したモデルを作成し鉄損を算定した。界磁制御をしない場合では結果が良好に一致した。

文献

- (1) 榎本裕治, 床井博洋, 小林金也, 天野寿人, 石原千生, 安部恵輔:「高密度圧粉磁心を適用したクローディースモータの開発」電気学会論文誌 D, Vol. 129, No. 10, pp. 1004-1010, (2009)
- (2) 一ノ倉, 田島, 中村, 吉田, 「磁気回路法によるモータの解析技術」, 科学情報出版 (2016)
- (3) 市川, 中村, 鄭, 栗本, 「リラクタンスネットワーク解析に基づく巻線界磁型クローポールモータの特性算定」, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 2, pp. 29-32 (2018)